

# Trabajos geodésicos para la documentación y georreferenciación precisa de yacimientos arqueológicos.

## *Geodetic works for the documentation and precise georeferentation of the archaeological sites*

Gracia Rodríguez-Caderot<sup>(1)</sup> Marta Folgueira<sup>(2)</sup> M. Luisa Cerdeño<sup>(2)</sup> Esther Pascual<sup>(3)</sup> Javier Mejuto<sup>(4)</sup>, César Rodríguez Gordillo<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Sec. Dptal. Astronomía y Geodesia. Fac. CC. Matemáticas. Universidad Complutense de Madrid, [grc@mat.ucm.es](mailto:grc@mat.ucm.es)

<sup>(2)</sup> Instituto de Astronomía y Geodesia. (UCM-CSIC). [martafl@mat.ucm.es](mailto:martafl@mat.ucm.es)

<sup>(3)</sup> Dpto. Prehistoria. Fac. Geografía e Historia. Universidad Complutense de Madrid, [mluisac@ghis.ucm.es](mailto:mluisac@ghis.ucm.es)

<sup>(4)</sup> Dpto. de Infraestructuras, Sistemas Aeroespaciales y Aeropuertos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos. Universidad Politécnica de Madrid, [esther.pascual@upm.es](mailto:esther.pascual@upm.es)

<sup>(5)</sup> Dpto. Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I. Fac. CC. Físicas. Universidad Complutense de Madrid, [jmejugo@yahoo.es](mailto:jmejugo@yahoo.es)

### SUMMARY

*This paper shows survey works undertaken in the frame of the following Projects: "Archaeological operation at the site Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara)" sponsored by Consejería de Cultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, started in 2006 and continues annually, and "Application of the technologies GPS in archaeological works. ARQUEOGPS" that is a line derived from the project of research of the National Program of the Space with title "Services of Positioning and Navigation based on Networks of Permanent Stations GNSS with applications in real time (RTK)". The principal aim consists of applying the technologies of positioning for satellites (GNSS: GPS and GLONASS) to the field of the Archaeology, in order to obtain a methodology of work that allows the archaeologist to fulfil the rapid and precise reference of the deposits in study.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La disciplina arqueológica se ha convertido en los últimos años en una ciencia interdisciplinar que necesita la información proporcionada por especialistas en otras materias para elaborar una sólida base empírica sobre la que sustentar sus hipótesis de trabajo.

Una de las herramientas más importantes a la hora de comenzar los trabajos arqueológicos en yacimientos es contar con una representación fiable de los mismos. Esta representación puede ser de varios tipos, una cartografía precisa que incluya las estructuras visibles, una planimetría que permita establecer un mapa de curvas de nivel, prospecciones geofísicas, fotografías aéreas, etc. Las nuevas técnicas de posicionamiento por satélite (GPS) permiten actualmente realizar estos trabajos de una manera relativamente rápida y con la suficiente precisión requerida en este tipo de trabajos, (Amado Reino (1997), Estrada-Belli (1997), Mehrer (2006), Wheatley (2002), Crespi (2005)).

En esta comunicación se presentan los trabajos geodésicos realizados en dos yacimientos arqueológicos. Uno de ellos es el

yacimiento de Los Rodiles en la provincia de Guadalajara. Los trabajos de campo se llevaron a cabo en dos etapas; en primer lugar, antes del inicio de las excavaciones, cuando era preciso organizar las mismas en función del área a excavar, planificar las áreas de excavación, obtener la georreferenciación de puntos escogidos del yacimiento y efectuar una cuadrícula fiable del yacimiento que permitiera una excavación ordenada, además de situar con precisión en la cartografía los hallazgos. Posteriormente, una vez iniciadas las excavaciones sistemáticas, al irse descubriendo ciertas estructuras, en este caso parte de una muralla, se hizo necesario efectuar una microtopografía de los restos analizados para elaborar un mapa detallado de las estructuras encontradas y su ubicación respecto al yacimiento.

El otro yacimiento es la cueva de El Reguerillo en Patones en la provincia de Madrid, en este caso los arqueólogos estaban interesados en realizar un enlace de los puntos de una galería de la cueva con puntos del exterior, situados encima de la cueva, para

poder relacionar estructuras del interior de la cueva con características geológicas del entorno exterior.

## 2. TRABAJOS DE CAMPO EN LOS RODILES

El yacimiento, Cerdeño et al., (2007), se encuentra en la provincia de Guadalajara (Figura 1). Es un gran poblado fortificado de época celtibérica tardía fechado que ocupa un área aproximada de 5 hectáreas sobre el extremo oeste de una gran loma y por su posición, tamaño y cronología pudo actuar como núcleo central de la región circundante. El proyecto de excavación y estudio de este enclave se ha iniciado en el año 2007, pero ya se ha podido constatar la importancia que este oppidum pudo tener por su tamaño, como sobre todo, por el potente sistema defensivo que lo rodea. Se han identificado tres fortificaciones o recintos de muralla sucesivos, teniendo una especial relevancia el primero de ellos que delimita la acrópolis o parte superior del poblado, donde se disponían la mayor parte de las viviendas. Esta primera muralla se conserva en muy buen estado, quizás por la protección que ha ejercido el derrumbe que la cubría, y destaca por su monumentalidad ya que está fabricada con sillares ciclópeos, conserva más de cuatro metros de altura en algunos puntos y once metros de anchura en el extremo sureste, donde se remata una torre (Figura 2).

En el momento de realizar estos trabajos, durante el verano de 2006, se encontraba en la fase de prospección previa para elaborar un informe del potencial interés de los trabajos arqueológicos previstos en el yacimiento. Por tanto los primeros trabajos iban dirigidos a elaborar una georreferenciación precisa de puntos que enmarcaban el área total del yacimiento, lo cual permitió determinar el área total de la excavación. Debido a que se tenía interés en comenzar las excavaciones en un área reducida del yacimiento, donde se habían realizado prospecciones geofísicas que parecían revelar la existencia de restos arqueológicos, se densificó el área seleccionada georreferenciando nuevos puntos.

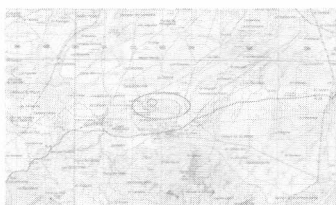


Figura 1 – Situación del yacimiento.



Figura 2 – Vista aérea de la muralla

Una vez determinadas las coordenadas de estos puntos se llevó a cabo una cuadrícula de la excavación total y de la zona de prospección con el fin de tener georreferenciadas las cuadrículas para que en las posteriores excavaciones se tuviera una rápida y precisa cartografía de los vestigios arqueológicos encontrados, lo que permitirá realizar los trabajos de campo de una manera sistemática y ordenada.

Era de interés comenzar los trabajos excavando una estructura visible de gran altura que se suponía formaba parte de un recinto amurallado. Por tanto, en la zona prospectada, se trazó, mediante el método de stop and go, un mapa de las curvas de nivel para dar valores cuantitativos de los desniveles existentes, que se muestran en la Figura 3. Así el arqueólogo dispone de un modelo digital del terreno que le permite planificar la excavación en función de las características topográficas de éste.

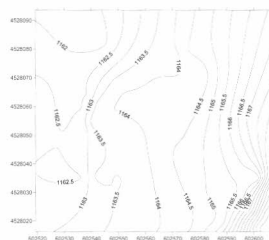
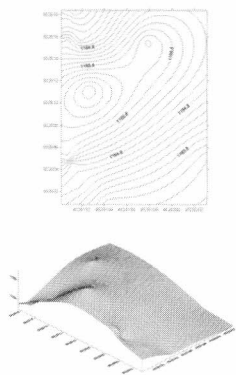


Figura3 – Mapa de curvas de nivel e imagen 3D de la zona de la muralla.

En el verano de 2007, una vez comenzados los trabajos de excavación, se confirmó la

existencia de la muralla y se efectuaron los trabajos de limpieza de la estructura. Para los arqueólogos era de gran interés realizar además una precisa representación de la muralla en el ámbito del yacimiento, proporcionándole información auxiliar, así como determinar un modelo digital del terreno que permitiera determinar los desniveles existentes entre la muralla y su entorno. Los trabajos realizados con la técnica de posicionamiento cinemático se muestran en las figura 3.



**Figura 3 – Mapas de curvas de nivel y representación en 3D de la muralla**

### 3. TRABAJOS DE CAMPO EN LA CUEVA DE EL REGUERILLO

El empleo del GPS ha experimentado un ascenso considerable en la última década gracias en parte al desarrollo de algoritmos que permiten obtener posiciones en tiempo real con alta precisión. El método más común empleado es el cinemático en tiempo real (RTK, Real Time Kinematic). Los mayores inconvenientes de este método radican en el hecho de es necesario disponer de una estación de referencia en un punto de la red geodésica local durante la observación lo que conlleva una gran inversión en equipos, así como la necesidad de recibir de manera continuada a través de un radio enlace las correcciones desde el receptor de referencia que en condiciones óptimas tendrá un alcance máximo de unas decenas de kilómetros.

Una alternativa al RTK clásico y que cada día cobra más auge son las redes RTK, Hu (2002), Rizos (2003), Wang (2005), basadas en la disposición de estaciones de carácter permanente constituyendo una red de carácter regional, lo que supone toda una serie de ventajas: i) empleo de un marco de referencia, ii) modelización precisa de las fuentes de error, iii) ampliación del área de trabajo, iv) el usuario convierte su receptor de referencia en un receptor móvil. Con la solución de red RTK se aumenta la distancia o longitud de las líneas de base, por tanto los equipos móviles deberán

incorporar un sistema de comunicación que les conecta a la estación de control de la red para recibir las correcciones diferenciales.

La aplicación de estas técnicas permite crear una forma de adquisición de datos de los yacimientos arqueológicos eficiente (rápida y de bajo coste), Crespi (2005), Rodríguez-Caderot (2006).

Toda esta metodología se aplica en el campo de la Arqueología para georreferenciar las áreas de interés lo que hace posible la creación de bases de datos o Sistemas de Información Geográfica que facilitan la obtención de una óptima representación de éstas.

Los resultados obtenidos son de rápida aplicación por los grupos de investigación arqueológica como metodología de adquisición de datos basados en las redes RTK lo cual impulsará a los arqueólogos a aprender las nuevas técnicas de posicionamiento con las que, con total seguridad, puede mejorar y estandarizar los datos que recoge, gestiona y analiza.

El estudio que se está llevando a cabo, dentro del proyecto “Aplicación de las técnicas GPS en trabajos arqueológicos. ARQUEOGPS”, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, consta de las siguientes fases:

- Realización de una prospección de los yacimientos de la Comunidad de Madrid en que se van a realizar las medidas.
- Elección de yacimientos de diferentes características: situados en entornos urbanos que puedan presentar obstrucciones importantes, situados en áreas despejadas, yacimientos que presenten restos que sean visibles, yacimientos con restos semicultos, etc.
- Realización de las medidas de observación GPS en los yacimientos elegidos utilizando el instrumental geodésico disponible por el equipo (receptores bifrecuencia de alto coste y monofrecuencia de bajo coste) para los que se les acoplara un receptor que sea capaz de recibir las correcciones proporcionadas por la red RTK.
- Procesamiento de los datos de campo.
- Análisis de los resultados obtenidos con la diferente instrumentación utilizada.
- Representación bidimensional/tridimensional de los yacimientos georreferenciados.
- Diseño de una base de datos que permita la implementación de la información adquirida.

Se han llevado a cabo observaciones preliminares en el área arqueológica de la cueva de El Reguerillo en Patones (Madrid), Figura 4, utilizando la red de estaciones GPS permanentes pertenecientes al proyecto IBEREF de la Comunidad de Madrid, que ha establecido y gestiona la empresa Leica y que nació con la intención de ser la primera red RTK a escala nacional. En este caso se pretende realizar una micro-topografía precisa del exterior de una cueva, actualmente en trabajos de excavación, lo que permitirá hacer el enlace de puntos de una galería de la cueva con los puntos externos para poder relacionar estructuras del interior de la cueva con características geológicas del entorno exterior.



Figura 4 – Entrada a la cueva de El Reguerillo

Los datos obtenidos en las campañas preliminares que se han efectuado están en el momento actual en fase de proceso, pero los primeros resultados parecen demostrar la efectividad de este tipo de metodologías en los trabajos arqueológicos (Figura 5).



Figura 5 – Puntos de control y micro-topografía del exterior de la cueva del Reguerillo superpuesta a la planta de la cueva

#### Agradecimientos:

Este trabajo se ha realizado dentro de los siguientes proyectos: “Intervención arqueológica en el yacimiento de Los Rodiles (Cubillejo de la Sierra, Guadalajara)” (274/2006). Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y “Aplicación de las técnicas-GPS en trabajos arqueológicos. ARQUEOGPS”

(ESP2006-28465-E) Ministerio de Educación y Ciencia.

#### 4. REFERENCIAS

- Amado Reino, X. (1997): “La aplicación del GPS a la Arqueología”. *Trabajos de Prehistoria*. 54 (1), 155-165.
- Cerdeño, M. L., Sagardoy, T., Chordá, M. (2007): “Cubillejo de la Sierra (Guadalajara) Oppidum de Los Rodiles y ermita de la Vega informe campaña 2006 y solicitud intervención 2007”. *Informe remitido a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Consejería de Cultura*
- Crespi, M., De Vendictis, U., Fabiani, L., Luzietti, A., Mazzoni, A. (2005): “The archaeological information system of the underground or Rome: A challenging proposal for the next future”. *CIPA 2005 XX international Symposium*. 26 september-1 october, 2005, Torino. Italia.
- Estrada-Belli, F. (1997): “GPS and GIS as aids for mapping archaeological sites”. *Archaeological Computing Newsletter*. 47, 5-10.
- Hu, G.R., Khoo, V.H.S., Gog, P.C., Law, C.L. (2002): “Internet based GPS VRS RTK Positioning with a Multiple Referente Station Network”. *Journal of Global Positioning Systems*. Vol. 1. No. 2, 113-120.
- Mehrer, M.W., Wescott, K.L. (2006): “GIS and Archaeological Site Location Modelling”. *Taylor & Francis*.
- Rizos, C., & Han, S. (2003): “Referente station network based RTK systems- Concepts & progress”. *Wuhan University Journal of Nature Sciences*, 8, 2B, 566-574.
- Rodríguez-Caderot, G., Cerdeño, M.L., Folgueira, T. Sagardoy (2006): “Observaciones topo-astronómicas en la zona arqueológica de El Ceremeño (Herrería, Guadalajara)”. *COMPLUTUM*, 17, 133-146.
- Wang, J., Lee, H.K., Lee, Y.J., Musa, T. & Rizos, C. (2005): “Online stochastic modelling for network-based GPS real-time kinematic positioning”. *Journal of GPS*, 4, 1-2, 113-119.
- Wheatley, D., Gillings, M. (2002): “Spatial Technology and Archaeology”. *Taylor & Francis*.